

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 11271541 A

(43) Date of publication of application: 08.10.99

(51) Int. Cl

G02B 6/12

(21) Application number: 10092426

(71) Applicant: NEC CORP

(22) Date of filing: 20.03.98

(72) Inventor: KOSAKA HIDEO  
KAWAKAMI SHOJIRO

(54) WAVELENGTH BRANCHING FILTER CIRCUIT

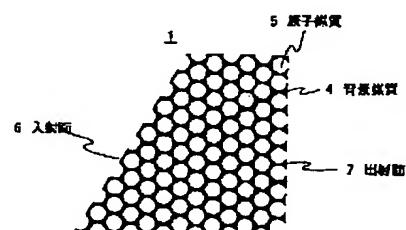
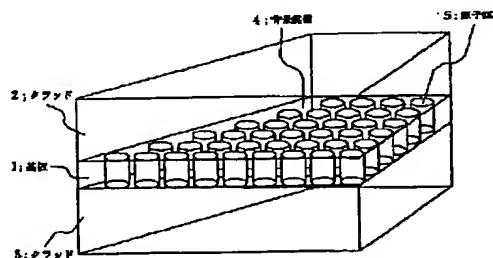
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength branching filter circuit which is suitable for high integration by reducing the size, making the operation fast, and improving element characteristics such as transmission efficiency and performance.

SOLUTION: This wavelength branching filter circuit controls wavelength deflection by generating strong wavelength dispersion characteristics that ordinary optical crystal does not have by not forming waveguides individually like a conventional AWG(array waveguide), but periodically arraying materials which are different in refractive index and is characterized by that a substrate 1 structured by embedding atom media 5 in a background medium 4 in two-dimensional triangular arrangement is sandwiched between a 1st clad 2 and a 2nd clad 3, an incidence surface 6 for a light signal slants at a certain angle to the incidence direction, and the light signal is outputted from a projection surface 7. The adjacency intervals of the atom media 5 are designed in conformity with the wavelength of the light signal and the thickness of the substrate 1 is so designed that the light signal is confined sufficiently

to the substrate 1 and the travel direction of the light may not deviate greatly from the substrate surface.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-271541

(43)公開日 平成11年(1999)10月8日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

F

審査請求 有 請求項の数13 FD (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平10-92426

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(22)出願日 平成10年(1998)3月20日

(72)発明者 小坂 美男

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 川上 彰二郎

宮城県仙台市若林区土崎236C-09

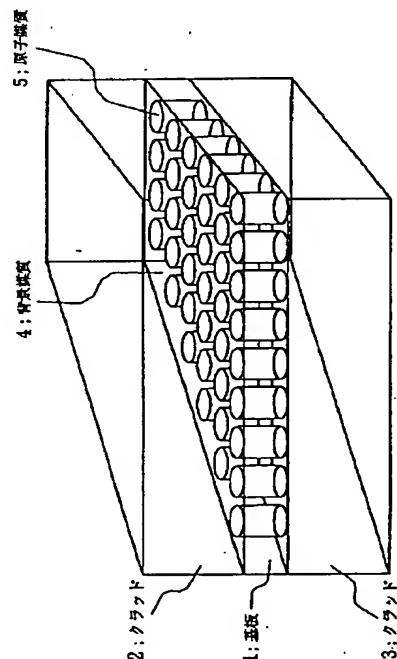
(74)代理人 弁理士 加藤 朝道

(54)【発明の名称】 波長分波回路

(57)【要約】

【課題】 サイズの小型化を達成するとともに、高速化、伝送効率等の素子特性、性能向上を図り、高集積化に好適な波長分波回路の提供。

【解決手段】 従来のAWGのように個別に導波路を形成せず、屈折率の異なる材料を周期的に配列することにより、通常の光学結晶にはない強い波長分散特性を作り出し、波長偏向制御を行うものであり、背景媒質4に原子媒質5を2次元三角配置状に埋め込んだ構造を持つ基板1の両側を第一のクラッド2及び第二のクラッド3で挟み、光信号の入射面6は入射方向に対して一定の角度で傾いており、出射面7から出力される。原子媒質5の隣接間隔は光信号の波長に合わせて設計してあり、基板1の厚さは光信号が基板1内に十分閉じ込められ且つ光の進行方向が基板面から大きく逸れないように設計されている。



分離じ込められ、かつ、その進行方向が前記基板面から大きく逸れないように設定されている、ことを特徴とする請求項9記載の波長分波回路。

【請求項13】前記基板中に設けられる前記屈折率の異なる媒質が、前記基板表面から裏面側へ貫通する孔中の空気、もしくは前記孔に、前記基板と屈折率の異なる部材を充填して構成されている、ことを特徴とする請求項9記載の波長分波回路。

【発明の詳細な説明】

10 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光集積回路に関し、特に光通信、光制御などに用いられ、波長多重光伝送方式などに用いて好適な平面型光集積回路に関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重光通信方式においては、波長多重された複数の信号光を、分波する、あるいは複数の信号光を1本の導波路に合波する機能のデバイスが不可欠である。そのような機能を有する光デバイスとして、アレイ導波路格子を用いた素子（以下、「AWG」（Array Wave Guide））という）が有力視されている。その一例として、高橋らによって、1992年発行の電子情報通信学会春季大会予稿第4分冊の第272頁に開示されたAWGの平面構造を図13に示す。

【0003】図13を参照すると、このAWG素子においては、Si基板からなる導波路基板51上に石英系の光導波路を形成しており、11本の入力光導波路52、凹面構造のスラブ導波路からなる入力側スターカップラ53、アレイ導波路格子54、出力側スターカップラ55、及び、出力導波路56を備えている。11本の入力

20 導波路52の内の1本の導波路から入力された、波長の異なる複数の信号光は、アレイ導波路格子部54で波長によって決定される位相シフトを受け、異なる出力ポートに出力される。すなわち、波長多重された信号光を分波することができる。

【0004】高橋らは、41本のアレイ導波路格子を用い、1.5μm波長帯において、周波数間隔10GHz、チャンネル数11の合分波器を製作し、クロストーク-14dB、挿入損失8dB、3dB透過帯域幅6.5GHzの特性を得ている。比屈折率差は75%、基板

30 サイズは4cm×6cmである。なお、同様のAWG素子は、例えば特公平7-117612号公報にも開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記した従来のAWG素子は下記記載の問題点を有している。

【0006】第1の問題点は、素子サイズが大きくなる、ということである。その理由は、光の進む進路一つ一つに、個別に導波路を作成する必要があり、各導波路の曲げ半径に制限があるからである。

【0007】第2の問題点は、クロストークの低減が困

【特許請求の範囲】

【請求項1】波長に応じて伝送経路を切り分ける波長分波回路において、

導波領域全体に屈折率の異なる媒質を周期的に配列することにより、通常の光学結晶にはない波長分散特性を作り出し、その波長分散特性を制御することによって波長分波を行う、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項2】請求項1記載の波長分波回路において、前記波長分散特性のうち、分散の強い、“重い光子状態”（“Heavy Photon”）を用いることにより、波長分波を行う、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項3】請求項1又は2記載の波長分波回路において、導波領域を基板状とし、屈折率の異なる材料を2次元周期的に配置することによって波長分散特性を制御することを特徴とする波長分波回路。

【請求項4】請求項3記載の波長分波回路において、2次元周期配列を、三角格子状とすることにより、重い光子状態を作り出す、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項5】請求項3又は4記載の波長分波回路において、基板に2次元周期的な貫通穴を配設することで屈折率差が設けられている、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項6】前記貫通穴がエッチング加工によって形成されていることを特徴とする請求項5記載の波長分波回路。

【請求項7】請求項3、4、5、及び6のいずれか一に記載の波長分波回路において、導波基板の両面を低屈折率の材料で挟み、機械強度を保ちつつ伝播モードを2次元面内に制御してある、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項8】背景媒質中に、該背景媒質と屈折率の異なる媒質を、二次元的に複数個所定のピッチで配設することで屈折率の波長分散異方性を有する導波領域を構成し、前記導波領域への入射光が前記導波領域内で波長に応じてその伝送経路を変える、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項9】導波領域をなす基板に、該基板表面からみて、2次元格子状に、前記基板と屈折率の異なる媒質を複数配設することで、前記基板自体に波長偏向特性を持たせ、前記基板に入射した光が波長に応じて前記基板中でその伝送経路を変える、ことを特徴とする波長分波回路。

【請求項10】前記基板中に設けられる前記屈折率の異なる媒質が、所定間隔で二次元周期的に配設されている、ことを特徴とする請求項9記載の波長分波回路。

【請求項11】前記基板の一の側面を入射面とし、前記入射面が前記入射光と、所定の角度をなし、前記入射面と対向する他側の側面を出射面とする、ことを特徴とする請求項9記載の波長分波回路。

【請求項12】前記基板の厚さは、光信号が基板内に十

難である、ということである。その理由は、導波路を構成するコアとクラッドの屈折率差をいくら大きくしてもある程度の光信号の染み出しを避けられず、また上記サインの制限からしても、導波路ピッチを十分大きくすることは不可能である、からである。

【0008】したがって、本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、サインの小型化を達成し、高速化、伝送効率等の素子特性、性能向上を図り、高集積化に好適とされる波長分波回路を提供することにある。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明は、波長一つ一つに導波路を形成することなく、基板自体に波長偏向特性を持たせるようにしたものである。より詳細には、本発明の波長分波回路は、基板自体に、全体的に2次元格子状に屈折率の異なる媒質からなる周期構造が形成されている。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】本発明の好ましい実施の形態について以下に説明する。本発明の波長分波回路は、その好ましい実施の形態において、基板自体に、全体的に2次元格子状に屈折率の異なる媒質からなる周期構造が形成されている。基板の周期構造により、2次元状のフォトニック結晶が形成され、これにより、屈折率分散の異方性が生じる。

【0011】この屈折率分散の異方性により、異なる波長の光を同一進路で入射しても、異なる進路で伝播するようになる。つまり、通常の光学結晶のプリズム効果に似た振る舞いを示す。

【0012】このフォトニック結晶では、通常の光学結晶に比べ、格段に大きな偏向特性が得られると共に、吸収を伴わないという点で、実際のデバイスに利用できる。

【0013】本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明に係る波長分波回路の好ましい実施の形態の概略構成を模式的に示す分解斜視図である。

【0014】図1を参照すると、本発明の波長分波回路は、その好ましい実施の形態において、基板1の両面を、第一のクラッド2及び第二のクラッド3で挟み込んだ構造となっている。そして、基板1は、背景媒質4に原子媒質5を2次元三角配置状に周期的に埋め込んだ構造とされている。

【0015】図2は、基板1を、クラッドと対向する面に平行に切断した平面形状を示す図である。図2を参照すると、光信号の入射面6は、入射方向に対して一定の角度で傾いており、出射面7から出力される構造とされている。

【0016】原子媒質5の隣接間隔は、光信号の波長に合わせて設計されており、基板1の厚さは、光信号が基

板1内に十分閉じ込められ、かつ、光の進行方向が基板面から大きく逸れないよう設計されている。

【0017】次に、本発明の実施の形態の動作について図10を参照して説明する。

【0018】波長多重されている入射光8は、基板1内に入射した後、波長毎に別れて伝播光9となって進行する。出射光10は、図示のごとく、ほぼ等間隔に出射される。この原理については、以下の実施例で詳しく説明する。

#### 10 【0019】

【実施例】本発明の実施例について図面を参照して以下に説明する。図3は、本発明の一実施例を説明するための図であり、基板を、クラッドと対向する面に平行に切断した平面の具体的構成を示す図である。なお、本発明の一実施例の波長分波回路の全体の構成は、図1に示した構成と同一である。

【0020】図3を参照すると、本発明の一実施例においては、基板1において、背景媒質4をSi(シリコン)とし、原子媒質5を空気とする。つまり、基板1を、Si基板中に貫通穴を設けて構成したものである。

【0021】ここで、基板1の厚さは1.9μmであり、原子媒質5の形状は円柱状(図1参照)とし、開口径0.77μmであり、そのアスペクト比は2.6となる。このアスペクト比であれば、原子媒質5をなす貫通穴は、エッチング加工による作製も可能である。そして原子媒質5の配列ピッチは0.83μmピッチとする。そして、図1に示すように、この基板1の両面に、クラッド2及び3となる十分な厚さのSiO<sub>2</sub>を貼り付けた。

30 【0022】結晶配列は、図3に示すように、三角格子状とし、光入射面をJ面(図3に示した、逆格子空間のJ点方向に垂直な面)に、光出射面をX面(図中のBriouin Zone; ブリュアンゾーン参照)にとる。結晶長は1mmとする。

【0023】次に本発明の一実施例の動作について説明する。

【0024】1. <フォトニックバンド構造>: 図3に示した、この結晶構造で得られるフォトニックバンド構造を、図4に示す。ここでは、磁場の偏波面がSi面内にあるTMモードのみを示しており、これを例に説明する。

【0025】図4において、一点鎖線は、真空中から入射する光の分散直線( $\omega = ck$ )であり、Γ—X間では結晶内の分散曲線と2点で交差する。ここではより微係数の小さい下から3番目の分枝(実線で示す)を用いる。この分枝は、電子系との類似性から、“Heavy Photon”(ヘヴィフォトン; 重い光子)と呼ばれる。図5に、この分枝の拡大詳細図を示す。

【0026】2. <波長分散特性>: この分散関係から、屈折率の波長依存性を求める、これより結晶内のビ

ーム伝播特性が得られる。図8に、屈折率 (Refractive Index) の波長 (Wavelength) 依存性を、図6に伝播角 (Angle) の波長依存性を、また図9に結晶長1mの出射端での空間分布 (縦軸は距離 $\mu\text{m}$ ) を示す。図9に示すように、波長1.5 $\mu\text{m}$ を中心としてほぼリニ\*

$$\omega = ck/n$$

【0029】の関係より、

【0030】

$$n = \frac{ka/2\pi}{\omega a/2\pi c}$$

【0031】となり、屈折率nは、図5の傾きの逆数から得られる。

【0032】結晶内ビーム伝播角 $\theta_2$ は上記nを用いて★

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \theta_1}{n}\right) - 30$$

【0034】これより、図9に示した空間分布が求められる。

【0035】入射光の結晶内への透過率Tの波長依存性 20 は、屈折率nとの関係で、次式(4)によって与えられ☆

$$T = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

【0037】図4の一点鎖線で示した入射光分散との交点に近いほど高い透過率を示す。透過率 (Transmissivity) の計算結果は、図7に示すように、1.49 $\mu\text{m}$ から1.51 $\mu\text{m}$ の全波長域で90%以上となる。

【0038】以上得られた結果をまとめ、空間伝播の様子を、図10に示す。図10を参照すると、出射端に、1.25 $\mu\text{m}$ ピッチでファイバを配列した場合で5波、導波路に導入するとして2.5 $\mu\text{m}$ ピッチを想定すると、2.5波のWDM (Wavelength Division Multiplex) スプリッターを実現できることになる。

【0039】厳密には入射角と結晶内の伝播角は異なるため、実際の伝播方向でのバンド構造を反映させなくてはならないが、三角格子ではバンド構造がほぼ等方的であり近似的に正しい解が得られる。

【0040】3. <基板厚条件>：スラブ構造のフォトニック結晶を2次元系として扱うことが出来るためには、層方向に、平面波であるものとして近似できなくてはならない。つまり、伝播角が面内からあまり逸れてはならない。また、フォトニックバンドを形成するには屈折率差の大きいことが重要であるから、スラブへの光閉

\* アな空間分布特性が得られており、結晶長の半分に相当する500 $\mu\text{m}$ の分布幅が得られる。

【0027】屈折率nの波長依存性は、

【0028】

【数1】

… (1)

※ 【数2】

※

… (2)

★スネルの式から、次式(3)で与えられる。

【0033】

【数3】

… (3)

☆る。

【0036】

【数4】

… (4)

じ込めが弱いと、実効的に平均化され、顕著な効果が得られない。これらを考慮して最適なスラブ厚を導出する必要がある。厳密には3次元構造を正確に取り込む必要があるが、本解析では、変数分離が可能であるとして、近似的に以下のように仮定する。

30 【0041】・スラブへの光閉じ込め率：0.7以上。  
・伝播角の面内からのずれによるTE-TMミキシング：0.1以下。

・スラブ内の電磁場分布は均一分布。

【0042】これらの近似のもとに得られるスラブ厚条件を以下順に説明する。

【0043】3-1. <光閉じ込め率に対する条件>：フォトニック結晶の特異的な屈折率分散は、屈折率差の大きい媒質を周期的に並べることにより得られる。従つて、このコントラストを落とすことのないよう、Siスラブへの光閉じ込め率を高く保つ必要がある。

【0044】まず、Siスラブの膜厚dを屈折率分布で規格化した規格化膜厚Dを以下の様に定義する。

【0045】

【数5】

$$D = d \delta \epsilon^{1/2} \beta_0$$

… (5)

$$\delta \epsilon = \epsilon_1 - \epsilon_2$$

… (6)

$$\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

… (7)

$$2.0 \leq D \leq 3.2$$

… (8)

【0046】ここで、 $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ はそれぞれスラブ及びクラッドの誘電率を、 $\lambda_0$ は真空中の波長を示す。

【0047】このDを用いて、スラブへの光閉じ込め係数 (confinement factor)  $\Gamma$ は、図11に示すような関係を示す。

【0048】ここで、 $\Gamma$  ( $n = 0$ ) は基本モードの光閉じ込め率を、 $\Gamma$  ( $n = 1$ ) は第一高次モードの光閉じ込め率を表す。規格化膜厚Dの増加にしたがって閉じ込めは徐々に増加していくが、 $D = 3.2$ で高次モードが出現し、多モード状態となる。この関係より、シングルモードを保ちながら閉じ込め率70%以上得るために、次式(8)が必要条件となる。

【0049】

\* 【数6】

【0050】3-2. <伝播角に対する条件>：完全な2次元結晶ではTEとTMはそれぞれ場の固有モードとなっており、カップリングはなく近似は入らない。ただし、現実の系では面内から逸れたビーム(Out of Plane Propagation)も考慮する必要があり、厳密には確かにこのカップリングがある程度生じる。これを抑制するには伝播角をできるだけ面内に揃える必要がある。

【0051】光強度が半分となる伝播角 $\theta_{1/2}$ をやはり屈折率分布で規格化した規格化伝播角 $\Phi_{1/2}$ を次式(9)のように定義する。

【0052】

\* 【数7】

… (9)

【0053】この規格化伝播角 $\Phi_{1/2}$ の規格化膜厚D依存性は、図12のようになることが示される。

【0054】光閉じ込めに対する条件(上式(8))より、Dは2.0から3.2であることから、 $\Phi_{1/2}$ は、※

$$0.42 \leq \Phi_{1/2} \leq 0.45$$

… (10)

【0056】従って、実際の伝播角 $\theta_{1/2}$ を十分小さくするには、 $\delta \epsilon$ をできるだけ小さく設計する必要がある。 $\sin \theta_{1/2}$ はTE波とTM波の結合係数を表すので、これを0.1以下に制限すると、上式(9)及び★

※次式(10)となる。

【0055】

【数8】

40★ (10)より、次式(11)が得られる。

【0057】

【数9】

$$\delta \epsilon \leq 0.057$$

… (11)

【0058】波長1.5μmでのSiO<sub>2</sub>の屈折率を1.46とすると、フォトニック結晶の屈折率は1.48以下でなければならないことになる。以下に説明するように、屈折率を1.48に設計できるとして、実際の

膜厚dは、次式(12)のようになる。

【0059】

【数10】

$$9 \\ 2.0(\mu\text{m}) \leq d \leq 3.5(\mu\text{m})$$

【0060】4. <フォトニック結晶の実効屈折率>：  
S<sub>i</sub>基板を三角格子配列で円筒状にくり貫いたフォトニック結晶では、半導体中の空気の充填率(filling factor)\*

$$ff = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left( \frac{d_{\text{hole}}}{p} \right)^2$$

10  
…(12)

\* r: ff)は、次式(13)で表せる。  
【0061】  
【数11】

…(13)

【0062】ここで d<sub>hole</sub> は穴の直径、 p は格子定数で 0.83 μm である。  
【0063】電磁場が平均的に分布しているとした時の実効屈折率 n<sub>eff</sub> は、この充填率 ff を用いて、次式

※(14) で与えられる。

【0064】  
【数12】

$$n_{\text{eff}} = ff \cdot n_1 + (1 - ff) \cdot n_2$$

…(14)

【0065】ここで n<sub>1</sub> は空気の屈折率で 1、 n<sub>2</sub> は S<sub>i</sub> の屈折率で 3.24 である。

★ 【数13】

$$n_{\text{eff}} \leq 1.48$$

…(15)

【0067】を満たすためには、 d<sub>hole</sub> は次式(16) の条件とすればよいことがわかる。

$$d_{\text{hole}} \geq 0.77(\mu\text{m})$$

☆ 【0068】  
☆ 【数14】

…(16)

【0069】以上より、 S<sub>i</sub> 穴のアスペクト比は 2.6 以上あれば十分であることが分かる。

【0070】本発明の他の実施例について説明する。前記実施例では、 S<sub>i</sub> 中に空気貫通穴を設ける構成で説明したが、その他にも、例えば穴中に S<sub>i</sub> O<sub>2</sub> を埋める、あるいは S<sub>i</sub> 基板に、酸化などの方式で、 S<sub>i</sub> O<sub>2</sub> などの屈折率の異なる媒質を形成するようにしてもよい。

【0071】また、 S<sub>i</sub> でなくとも GaAs、GaN など、他の材料を用いても作製可能である。

【0072】さらに、クラッドを片側のみにすることや、クラッド材料を S<sub>i</sub> O<sub>2</sub> 以外の他の材料としたり、貼り付けではなくクラッド上に基板材料を直接、結晶成長などの方法で形成することも可能である。

【0073】前記実施例では、三角格子を例に取って説明したが、正方格子など他の格子配列でも可能であり、またより偏向特性を向上するために、格子配列中に意図的に不均一性を導入するようにしてもよい。

【0074】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば下記載の効果を奏する。

【0075】本発明の第1の効果は、小型・軽量化、高集積化を達成すると共に、高速化、伝送効率向上などの特性・性能を向上することができる、ということである。

【0076】その理由は、本発明においては、偏向角を大きく取れ、サイズが小さくなるため、伝送距離も短くなり、分岐損失も小さいためである。

【0077】本発明の第2の効果は、生産性の向上する、ということである。

【0078】その理由は、本発明においては、素子サイズが小さくなり、同一面積のウェハから得られる素子数が多くなるからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の波長分波回路の実施の形態の構成を概略を示す図である。

50 【図2】本発明の波長分波回路の実施の形態における基

11

板部の断面を模式的に示す図である。

【図3】本発明の一実施例を説明するための図であり、基板の断面を模式的に示す図である。

【図4】本発明の一実施例を説明するための図であり、波長分波回路で得られるフォトニックバンド構造である。

【図5】本発明の一実施例を説明するための図であり、解析で用いるΓ-X間の下から3番目の分枝の分散関係詳細を示す図である。

【図6】本発明の一実施例を説明するための図であり、屈折率の波長依存性を示す図である。

【図7】本発明の一実施例を説明するための図であり、結晶内伝播光の伝播角の波長依存性を示す図である。

【図8】本発明の一実施例を説明するための図であり、結晶長を1mmとした時の伝播光出射位置の波長依存性を示す図である。

【図9】本発明の一実施例を説明するための図であり、入射光の結晶内への透過率の波長依存性を示す図である。

【図10】本発明の一実施例を説明するための図であり、空間伝播の様子を示す図である。

12

\* 【図11】本発明の一実施例を説明するための図であり、閉じ込め係数Γと規格化膜厚Dの関係を示す図である。

【図12】本発明の一実施例を説明するための図であり、規格化伝播角と規格化膜厚の関係を示す図である。

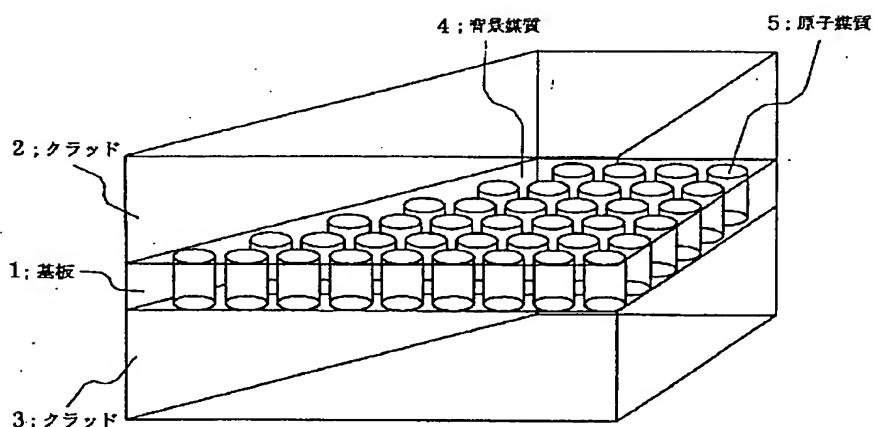
【図13】従来例のアレイ導波路格子の構造概略図である。

#### 【符号の説明】

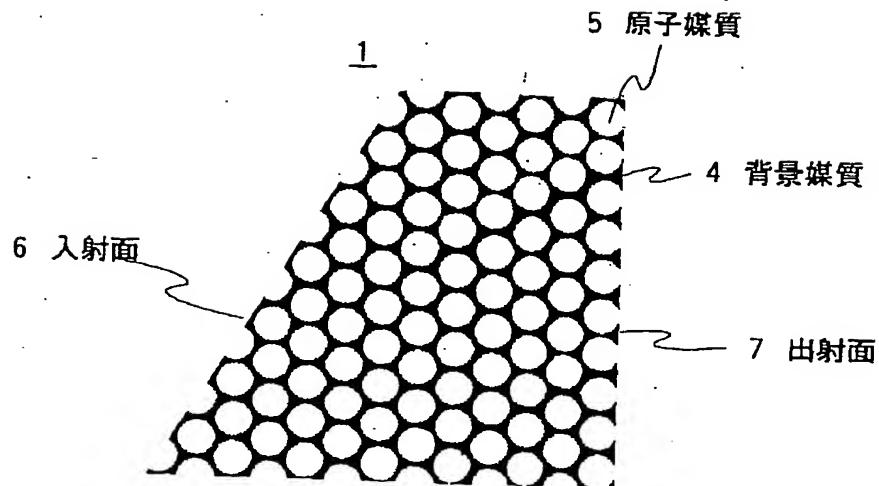
1	基板
10	2、3 クラッド
	4、背景媒質
	5、原子媒質
	6 入射面
	7 出射面
	51 導波路基板
	52 入力光導波路
	53 入力側スターカップラ
	54 アレイ導波路格子
	55 出力側スターカップラ
20	56 出力導波路

\*

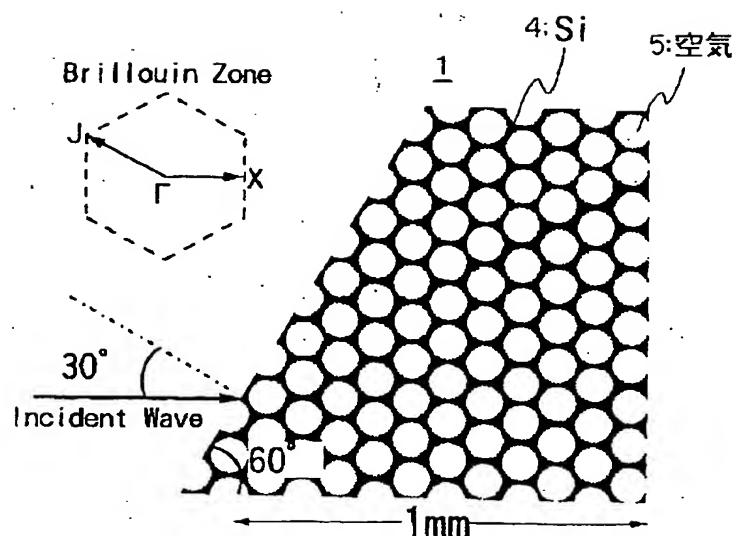
【図1】



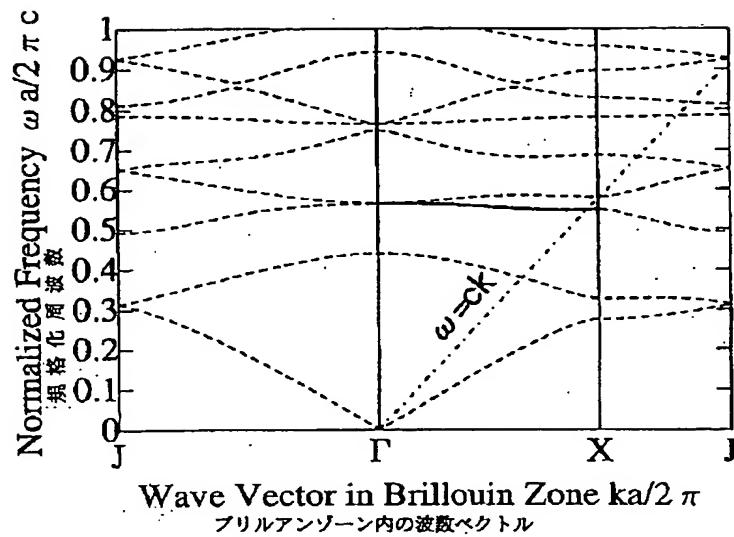
【図2】



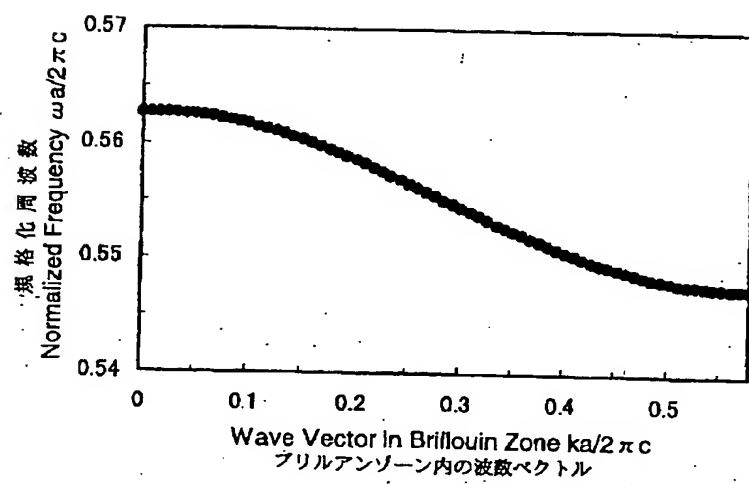
【図3】



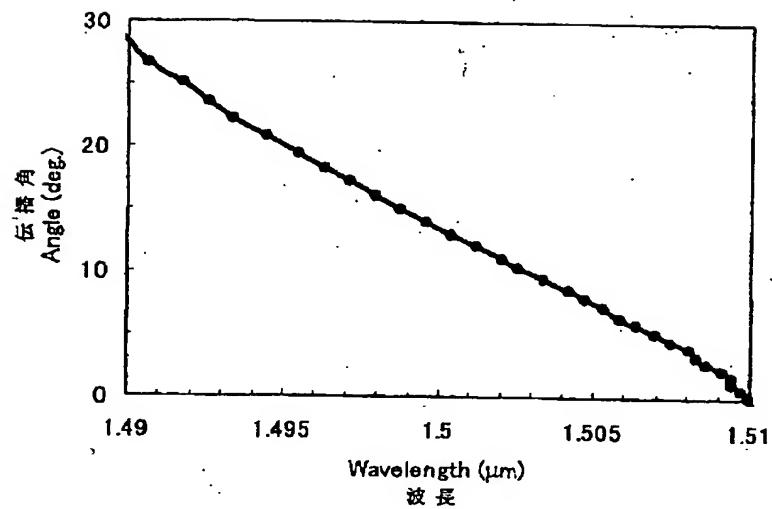
【図4】



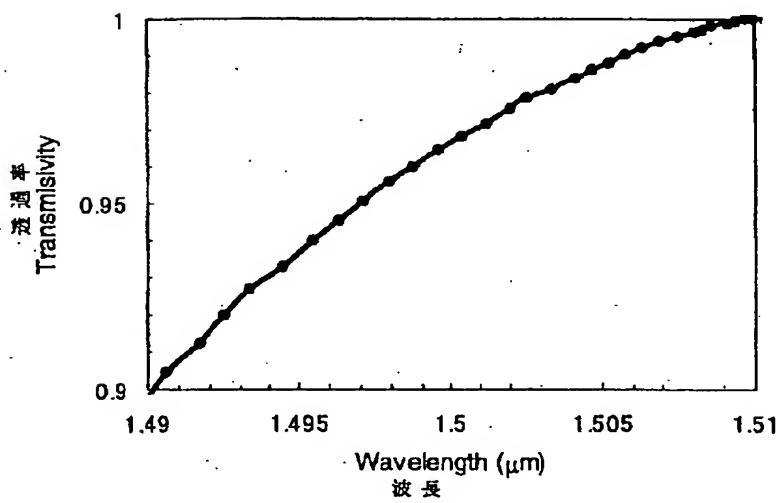
【図5】



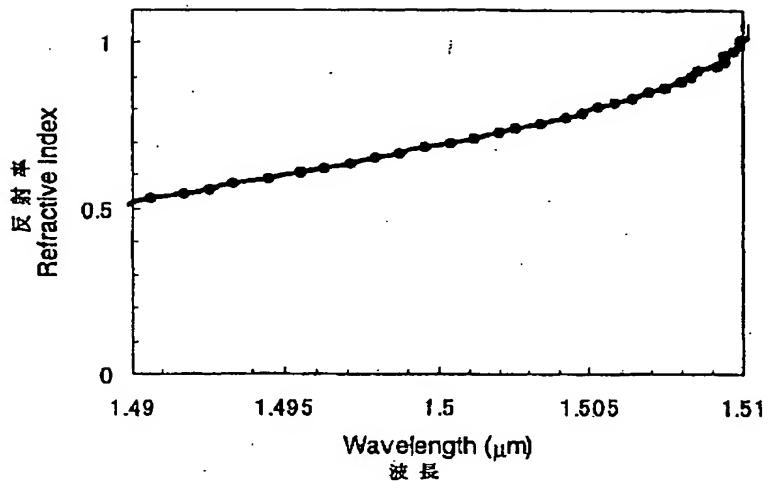
【図6】



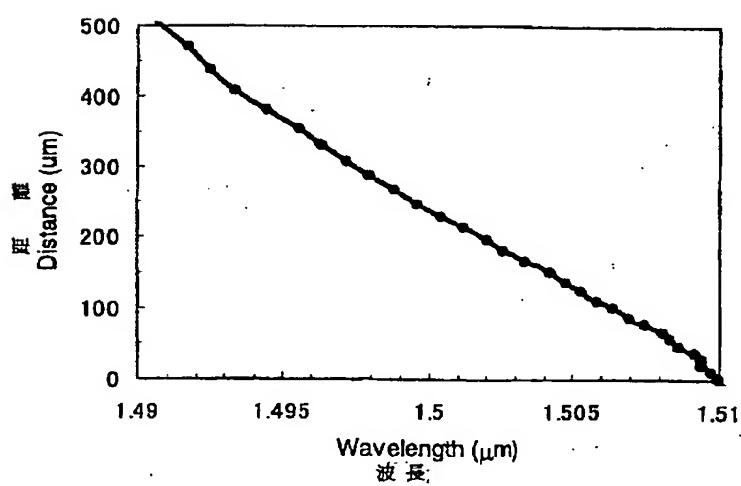
【図7】



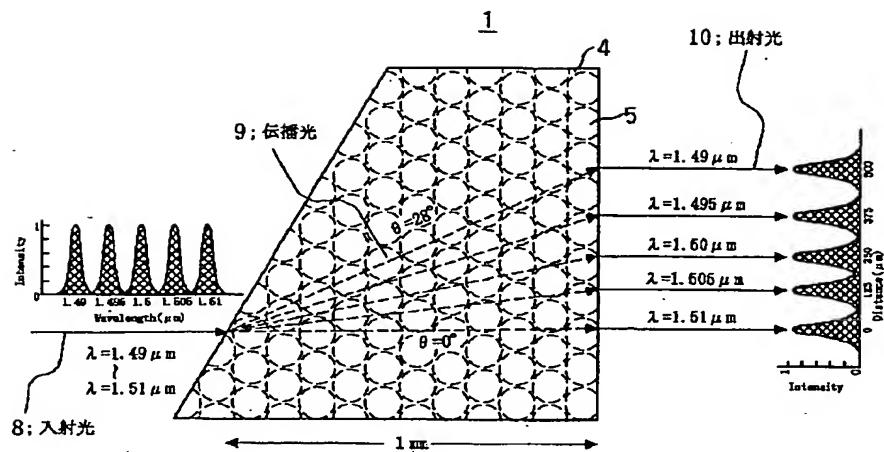
【図8】



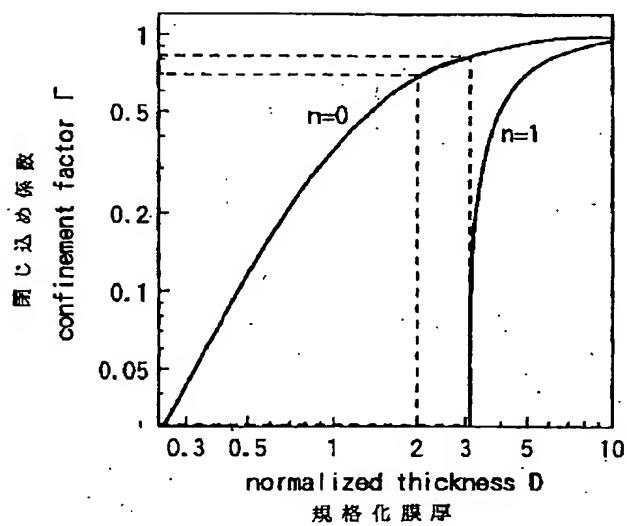
【図9】



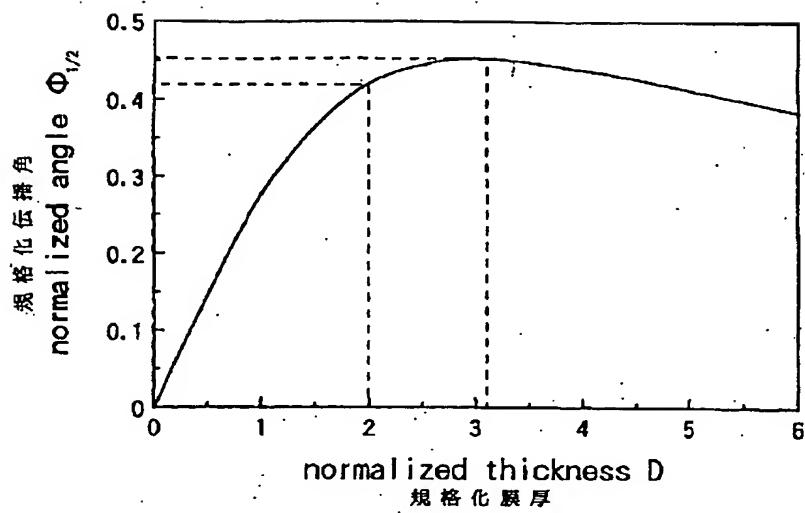
【図10】



【図11】



【図 1 2】



【図 1 3】

